



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

치의학석사 학위논문

새로 개발된  
파노라마방사선영상팬텀을 이용한  
상층 및 해상도 평가

Evaluation of the image layer and the  
resolution using newly developed  
panoramic radiographic phantom

2018년 8월

서울대학교대학원

치위과학과 영상치의학 전공

염 한 결

새로 개발된  
파노라마방사선영상팬텀을 이용한  
상층 및 해상도 평가

지도교수 이 삼 선

이 논문을 치의학석사학위 논문으로 제출함

2018 년 4 월

서울대학교대학원

치위과학과 영상치의학 전공

염 한 결

염한결의 치의학석사학위 논문을 인준함

2018 년 6 월

위원장 \_\_\_\_\_ (인)

부위원장 \_\_\_\_\_ (인)

위원 \_\_\_\_\_ (인)

국문초록

# 새로 개발된 파노라마방사선영상팬텀을 이용한 상층 및 해상도 평가

염 한 결

서울대학교대학원 치의과학과 영상치의학 전공

(지도교수 이 삼 선)

## 1. 목 적

파노라마방사선장비의 상층과 해상도를 평가할 수 있는 두 종류의 파노라마방사선영상팬텀을 제시하고, 이를 파노라마방사선장비에 적용하여 얻어진 영상을 통해 장비의 상층 및 해상도를 평가하고자 한다.

## 2. 방 법

두 종류의 파노라마방사선영상팬텀으로 메탈 볼을 이용한 파노라마팬텀과 가로 납선 쌍을 이용한 가로해상도계단팬텀을 제작하였고, 팬텀 영상을 획득하여 영상 평가를 시행하였다.

메탈 볼을 이용한 파노라마방사선영상팬텀의 아치 모양 외형은 한국 성인 남성의 평균 하악 치열궁 형태를 참고하여 결정된 중심선을 기준으로 제작하였다. 2 mm 직경의 메탈 볼을 중심 간 직선 4 mm 의 근원심 간격으로 팬텀의 중심선을 따라 배열하였고, 각 볼의 협설측으로 22 개의 볼을 2 mm 간격으로 추가 배열하였다. 한 번의 촬영으로 모든 메탈 볼의 상이 중첩되지 않는 파노라마영상을 획득하기 위하여, 볼은 측면에서 보았을 때 대각선의 형태로 배열하였다. 제작된 팬텀을 파노라마팬텀으로 명명하였다. 영상에서 볼 왜곡률은 볼 상의 수직 및 수평 길이 차이의 비율로 정의하였으며, MATLAB® program 의 ‘Ellipse detection method’를 사용하여 측정 및 분석하였다. 볼 왜곡률의 다양한 임계치를 설정하여 각 임계치 별 상층의 형태 및 경계를 획득하였다.

각 위치에서 영상의 볼 왜곡률과 가로 납선 쌍을 이용한 해상도 값을 비교하기 위하여 전치, 소구치, 대구치, 하악과두 부위에 고정되어 한 번의 영상 획득으로 폭 48 mm 에 해당하는 영역의 가로 납선 쌍의 영상을 얻을 수 있는 계단 형태의 가로해상도계단팬텀과 팬텀 거치대를 제작

하였다. 각 1.88, 2.32, 2.58, 3.19 lp/mm 의 가로 납선 쌍을 협설측 4 mm 간격으로 위치시켰고, 얻어진 영상은 2 명의 영상치의학과 전문의에 의해 판독되었다.

### 3. 결 과

50%의 볼 왜곡률 임계치를 적용하였을 때 메탈 볼 영상이 나타나는 대부분의 영역이 상층 경계의 내부에 포함되었다. 5%의 볼 왜곡률 임계치를 적용하였을 때에는 상층이 팬텀의 중심선을 따라 좁은 폭으로 형성되었으나, 하악과두 부위에서는 중심선의 설측에 치우친 형태로 관찰되었다.

가로해상도계단팬텀의 경우 1.88, 2.32, 2.58 lp/mm 의 가로 납선 쌍은 전치, 소구치, 대구치, 하악과두 부위의 48 mm 폭에서 모두 판독이 가능하였다. 3.19 lp/mm 를 이용하여 획득된 영상에서 전치, 소구치, 대구치 부위에서 판독 가능한 가로 납선 쌍이 위치한 협설측 폭은 각 18.8, 9.6, 12.8 mm 이었고, 하악과두 부위에서는 모든 협설측 폭에서 판독이 불가능하였다. 3.19 lp/mm 의 가로 납선 쌍이 판독 가능한 영역은 악궁의 설측에 치우친 형태로 관찰이 되었고 해당 영역에서 볼 변형률은 최소 15%부터 인식되지 않는 부분까지 다양하게 존재하였다.

## 4. 결 론

파노라마팬텀을 이용하여 파노라마방사선장비에 의해 촬영되는 모든 근원심 영역에 대하여 상층의 평가가 가능하였다. 이 때 넓은 협설측 폭 (46 mm)에 대하여 2 mm 간격으로 정확한 상층 평가가 가능하였다.

가로해상도계단팬텀에서 전치부에 가장 높은 해상도를 보이는 부위는 한국 성인 남성 하악 치열궁을 기준으로 관찰하고자 하는 악골의 중심에서 설측으로 벗어난 부위에 존재하고 있었다. 파노라마방사선장비의 특수성을 고려하였을 때 납선 쌍을 이용한 해상도 평가에는 한계가 존재하여 파노라마팬텀의 볼 경계를 이용한 해상도 평가가 권장된다.

---

주요어 : 파노라마방사선장비, 상층, 팬텀

학 번 : 2016-28672

## 목 차

I. 서론 .....	1
II. 연구재료 및 방법 .....	8
III. 연구결과 .....	24
IV. 고찰 .....	37
V. 결론 .....	42
VI. 참고문헌 .....	43
Abstract (English) .....	45



# I. 서론

## 1. 연구의 개요

파노라마방사선촬영술은 구강악안면영역의 골과 치아의 구조를 한 장의 영상으로 보여주는 단층촬영술의 일종이다.<sup>1</sup> 촬영 술식이 간단하고 무치악, 개구장애 환자 등의 촬영도 용이하다는 장점 뿐만 아니라, 비교적 적은 x선 노출로 전반적인 구강악안면영역의 진단 정보를 준다는 장점이 있어 치의학 영상진단 영역에서 보편적으로 사용되고 있는 촬영법이다.

파노라마방사선장비의 원리는 단층 촬영의 원리와 스캐닝의 원리가 혼합된 것으로, 피사체의 삼차원 구조 중 입체적인 곡면 형태의 상층(초점층)에 위치한 구조만이 펼쳐진 형태의 이차원 영상으로 선명하게 획득되어 진단적 가치를 갖게 된다는 차별화되는 특징을 가지고 있다.<sup>2</sup> 이 때 곡면 형태의 상층은 파노라마방사선장비의 x선원이 움직이는 각도, 회전 중심과 필름의 거리, x선원의 폭 등 다양한 요소의 영향을 받는다.<sup>3</sup> 이러한 파노라마방사선장비의 특성으로 인해 피사체의 관찰하고자 하는 부위가 상층에 정확하게 위치되지 못하면 진단적 가치가 적은 영상이 획득되게 된다. 따라서 파노라마방사선장비의 정확한 상층 형태와 위치를 아는 것은 적절한 영상의 획득에 매우 중요하다.

현재 파노라마방사선장비의 평가는 장비의 특수성을 충분히 고려한 형

대로 이루어지지 않고 있다. 2000년 International Electrotechnical commission(IEC)에서 발행한 ‘Acceptance tests—Imaging performance of dental X-ray equipment’에서는 1.6 lp/mm—3.0 lp/mm 의 사진 납선 쌍을 포함하는 팬텀을 이용한 파노라마방사선장비의 평가 방법을 제시하고 있다.<sup>4</sup> 이 때 파노라마방사선장비의 최소 해상도는 2.5 lp/mm 이라는 기준을 제시하고 있지만, 팬텀의 위치에 대한 정확한 기준이 제시되어 있지 않아 악궁의 전후방, 협설측에서의 위치를 고려한 정확한 평가가 이루어지지 않고 있다.

우리나라에서는 보건복지부의 ‘진단용 방사선 발생 장치의 안전관리에 관한 규칙(보건 복지부령 제528호)’<sup>5</sup>에 따라 모든 진단용 방사선장비의 안전관리가 시행되고 있다. 치과진단용 엑스선 발생장치에 대해서는 외장누설전류시험, 조사선량의 재현성시험, 관전압시험, 관전류시험 등이 시행되고 있으나, 상층에 대한 평가를 비롯한 장비의 팬텀 평가는 포함되어 있지 않다.

따라서 파노라마방사선장비의 상층의 위치와 그 형태에 대해 측정하고 측정된 상층 영역이 실제 촬영 대상자의 평균적인 악골 위치와 일치하는지에 대한 평가가 필요하며 이를 위한 파노라마방사선영상팬텀의 개발과 평가 방법의 정립이 필요하다.

## 2. 국내외 연구동향

파노라마방사선장비의 상층의 위치와 그 형태는 획득된 영상에서 평가할 수 있다. 여러 국외 선행 논문에서 파노라마방사선장비의 상층을 평가하였고, 그 평가 방법과 기준은 다양했다. 1972년도 ‘Dimensions of the Focal Trough in Panoramic Radiography’<sup>6</sup>와 1975년도 ‘A study of the focal troughs of three panoramic dental x-ray machines. Part I. The area of sharpness.’<sup>7</sup>의 논문에서는 악궁 모양 지지대에 핀을 꽂은 후 영상을 획득하였고, 얻어진 영상에서 판독자가 주관적으로 선예도를 점수화하여 상층의 경계를 결정하였다. 1982년도 ‘A study of the zone of sharpness of three panoramic x-ray machines and the effect of screen speed on the sharpness zone.’<sup>1</sup>의 논문에서는 처음으로 납선 쌍을 이용한 파노라마방사선장비의 상층측정법을 제시하였다. 악궁 모양 지지대의 총 8개 부위에서 협설측 1.5 mm 간격으로 납선 쌍의 위치를 변경하며 영상을 획득하였고 1.7 lp/mm의 판독가능여부를 기준으로 상층의 경계를 결정하였다. 1985년도 ‘Effect of border sharpness on the size and position of the focal trough of panoramic x-ray machines.’<sup>2</sup>에서는 악궁 형태의 지지대에서 메탈 볼을 10도씩, 그리고 1 mm씩 이동시키면서 가장 동그란 형태의 볼로 영상이 얻어지는 위치를 ‘Image central plane’으로 결정하는 상층 평가법을 제시하였다. 다양한 논문에서 제시된 여러가지 상층 평가 방법과 그 기준에 대해 Table 1.에 정리하였다.

Table 1. Several articles about the image layer assessment

Year	Article title	Journal title	Method of the image layer assessment
1972	Dimensions of the Focal Trough in Panoramic Radiography <sup>6</sup>	The Journal of the American Dental Association	<b>Sharpness of the obtained pin image</b> Positioning pins with 3 mm interval. Interpretation by two investors determined the sharpest point as a image layer.
1975	A study of the focal troughs of three panoramic dental x-ray machines. Part I. The area of sharpness. <sup>7</sup>	Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology	<b>Sharpness of the obtained pin image</b> Positioning 396 pins at specific area. Interpretation and sum of the score by four investors determined the high score area as a image layer.
1975	A study of the focal troughs of three panoramic dental x-ray machines. Part II. Image Dimensions. <sup>8</sup>	Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology	<b>Distortion rate of the obtained pin image</b> Positioning 396 pins at specific area. The horizontal and vertical lengths of the pin were measured with a Boley gauge to obtain a magnification percentage range.
1982	A study of the zone of sharpness of three panoramic x-ray machines and the effect of screen speed on the sharpness	Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology	<b>Resolution (1.7 lp/mm)</b> Positioning 1.7 lp/mm resolution phantom at 8 points. Changing the position with 1.5 mm buccolingual interval. Interpretation by the agreement of four investors determined the image layer.

zone.<sup>1</sup>

1985	Effect of border sharpness on the size and position of the focal trough of panoramic x-ray machines. <sup>2</sup>	Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology	<b>Resolution (1.2, 1.7, 2.0, 2.4, 2.9 lp/mm)</b> Positioning several lp/mm resolution phantoms at 8 points. Changing the position with 1.5 mm buccolingual interval. Interpretation by the agreement of four investors determined the image layer.
1985	The central plane of the image layer determined experimentally in various rotational panoramic x-ray machines. <sup>9</sup>	Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology	<b>Distortion rate of the obtained ball image</b> Positioning metal balls with 10 degree interval, and 1 mm buccolingual interval. The image layer was determined as the area where the most rounded image is obtained
1987	Comparison of focal trough dimensions and form by resolution measurements in panoramic radiography. <sup>10</sup>	The Journal of the American Dental Association	<b>Resolution (1.7 lp/mm)</b> Positioning 1.7 lp/mm resolution phantom at 8 points. Changing the position with 1.5 mm buccolingual interval. Interpretation was done and the readable area was defined as a image layer.
1989	The focal trough of the Autopan panoramic dental x-ray machine. <sup>3</sup>	Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology	<b>Resolution (1.7 lp/mm)</b> Positioning 1.7 lp/mm resolution phantom at 8 points. Changing the position with 1.5 mm buccolingual interval. Interpretation was done and the readable area was defined as a image layer.



파노라마방사선장비의 상층 평가 필요성이 대두됨에 따라, 현재 파노라마방사선장비의 상층을 평가하기 위한 TO PAN®(Leeds Test Objects, North Yorkshire, United Kingdom)이라는 팬텀이 시판되고 있다. 이는 약 25 mm 의 영역에 대해 5 mm 간격으로만 평가가 가능할 뿐만 아니라, 전치, 소구치, 대구치, 하악과두의 네 부위에 대해서만 평가가 가능하다. 또한 얻어진 영상에서 볼의 경계나 장단축 설정 과정에서 술자의 개입이 필요하기 때문에 평가 결과 간에 오차가 발생 가능하다는 한계가 있다.

국내에서도 파노라마방사선장비의 차별화되는 특성에 맞는 정도관리의 필요성이 대두됨에 따라 다양한 연구가 진행되어 왔다. 최<sup>11</sup> 등의 논문에서 한국 성인 남성 표준 악궁 모양의 거치대와 납선 쌍 형태의 해상도 팬텀을 이용한 파노라마영상의 화질의 평가 가능성을 제시하였다. 신<sup>12</sup> 등의 논문에서는 악궁 형태의 팬텀 거치대와 해상도와 대조도를 동시에 평가할 수 있는 팬텀을 제작하여 악궁의 영역별 화질 평가 가능성을 제시하였다. 하지만 파노라마방사선장비의 상층의 형태나 크기에 대한 평가법 및 그 기준에 대한 연구는 진행되고 있지 않은 실정이다.

### 3. 목적

이에 본 연구는 파노라마방사선장비의 상층과 해당 부위의 해상도를 평가할 수 있는 두 종류의 파노라마방사선영상팬텀을 제시하고, 이를 실제 파노라마방사선장비에 적용하여 얻어진 영상을 통해 장비의 상층 및 해상도를 평가하고자 한다.



## II. 연구재료 및 방법

본 논문에서는 두 종류 파노라마방사선영상팬텀을 제작하였다. 촘촘하게 메탈 볼이 식립된 파노라마팬텀과 넓은 협설 폭에 대하여 계단 형태로 가로 납선 쌍을 위치시킨 가로해상도계단팬텀을 제작하였고 팬텀의 영상을 획득 및 평가하였다.

### 1. 파노라마팬텀을 이용한 상층 평가

#### (1) 파노라마팬텀의 제작

첫번째로 메탈 볼의 왜곡된 정도를 이용하여 상층을 평가하는 팬텀을 제작하였다. 이를 위해 한국 성인 남성의 평균 하악 치열궁 형태 및 하악과두의 위치를 재현하는 중심선(center line)을 결정하고 이를 기준으로 협설 방향으로 메탈 볼을 식립하였다.

가. 한국 성인 남성 평균 하악 치열궁 및 하악과두 데이터의 결정

한국 성인 남성의 평균 하악 치열궁 형태의 결정을 위하여 2개의 논문<sup>13,14</sup>, 하악과두의 위치의 결정을 위하여 추가적인 6개의 논문<sup>15,16,17,18,19,20</sup>을 참고하였다.

최<sup>11</sup>, 신<sup>12</sup> 등의 선행 논문에 사용된 한국 성인 남성 표준 하악 치열궁 데이터는 1996년도 대한치과교정학회지에 발표된 ‘한국인 정상교합자의 하악치열궁 형태에 관한 연구’<sup>13</sup>의 데이터이다. 본 연구에서는 그

이후 더 많은 성인 남성( $n=296$ )을 대상으로 분석된 2004년 ‘Tooth size and arch parameters of normal occlusion in a large Korean sample’<sup>14</sup> 논문의 데이터를 우선순위로 선정하였고, 이는 개선된 한국인의 영양 상태와 삶의 방식의 변화 등에 의하여 선행 논문과 4개의 계측 항목(견치간 폭경, 제1대구치간 폭경, 제2대구치간 폭경, 제2대구치고경)에서 차이를 보였다.

언급된 두 논문에서는 사용한 측정법이 달라 일부 계측 항목은 후속 연구에서는 측정되지 않았기 때문에 동일한 계측 항목에 대한 데이터는 2004년도 논문을 선택하였고, 2004년도 논문에서 측정되지 않은 계측 항목은 1996년도 논문의 데이터를 사용하여 최대한 많은 계측 항목을 이용하여 악궁 형태를 도출하였다.

두 논문을 통해 얻어진 데이터를 대응시켜 기준점이 될 수 있는 위치를 (x,y)로 표시하였다. 이 때 하악 중절치 절단면 중심의 위치를 (0,0)으로 정하여 악궁의 깊이(고경)에 대한 데이터를 x축에, 악궁의 폭(폭경)에 대한 데이터를 y축에 표시하였다. 악궁의 폭의 경우 정준선을 기준으로 양측이 대칭이라고 가정하여 제시된 폭 값에 1/2을 곱하여 수치화하였다. 얻어진 최종 값은 하방 Table 2.와 같다. 굵게 처리된 문자는 2004년 논문에서 얻어진 값이고, 기울림 처리된 문자는 1996년 논문의 값이다.

Table 2. Selected reference tooth position parameters ( mm )

Position	x ( mm )	y ( mm )
#31 – #41 midpoint	0.0	0.0
#43 center	5.3	14.1
#44 cusp		18.3
#45 cusp		21.3
#46 (MB* cusp)	23.7	24.1
#47 (MB* cusp)	33.8	27.1
#47 (DB* cusp)	39.0	

\* MB: mesiobuccal, DB: distobuccal

대응하는 x 또는 y 값이 없는 기준점의 경우에는 2004년 논문의 각 치아의 크기 값을 이용하여 값을 도출하였다. 예를 들어 44번 치아의 x 값의 경우, 43번 치아의 (5.3,14.1)과 44번 치아의 (x,18.3) 사이의 거리가 (하악 3번, 4번 치아 크기의 합) \* 1/2 이라는 가정으로 점과 점 사이의 거리를 계산하는 이차방정식을 통해 x 값을 도출할 수 있었다.

해당 방식으로 완성한 최종 악궁 기준점은 다음 Table 3.과 같다.

Table 3. Final reference tooth position parameters ( mm )

Position	<b>x ( mm )</b>	<b>y ( mm )</b>
#31 – #41 midpoint	0.0	0.0
#43 center	5.3	14.1
#44 cusp	11.1	18.3
#45 cusp	18.0	21.3
#46 (MB* cusp)	23.7	24.1
#47 (MB* cusp)	33.8	27.1
#47 (DB* cusp)	39.0	28.0

\* MB: mesiobuccal, DB: distobuccal

악궁과 하악과두와의 상관관계는 최<sup>11</sup>, 신<sup>12</sup> 등의 선행논문에서 사용된 수치를 참고하였다. 1996년 대한치과교정학회에서 발간한 ‘한국 성인 정상교합자의 측모두부규격방사선사진 계측 연구 결과보고서’<sup>15</sup> 와 1984년 안형규에 의해 발표된 ‘두부X선 규격 계측사진에 의한 하악두의 관찰’<sup>16</sup> 에 의해 계측된 수치를 사용하되, 두부규격방사선촬영술의 확대율을 10%로 결정하고<sup>17,18</sup>, 이를 보정한 값을 사용하였다. 시상면 상 거리를 유도하는 과정에서 사용된 측정값은 다음과 같다. \* 표시된 값들은 영상에서의 계측치로, 확대율 보정을 적용하기 전의 수치이다.

- (1) Porion location: 44.7 mm\*<sup>16</sup>
- (2) Maxillary 1<sup>st</sup> molar to PTV: 19.0 mm\*<sup>16</sup>
- (3) Distance between porion and condylar head (posterior surface): 7 mm\*<sup>19</sup>
- (4) Condylar antero-posterior dimension: 7.89 mm<sup>20</sup>
- (5) Molar relation: 1.6 mm\*<sup>16</sup>
- (6) Cant of Occlusal plane: 7.74 °<sup>16</sup>
- (7) Depth of lower first molar: 23.7 mm<sup>13</sup>
- (8) Tooth size of lower first molar: 11.11 mm<sup>14</sup>

해당 수치로 계산된 하악 중절치에서 하악과두 중심에 이르는 시상면 상 거리인 81.22 mm 와 과두 간 거리 평균값 108.20 mm 의 1/2 값인 54.10 mm 가 각각 하악과두 위치의 x, y 값으로 사용되었다.

선행 논문들은 악골의 특정 위치에만 팬텀을 거치 시키는 형태였기 때문에 기준점 이 외의 악골의 위치 정보가 필요하지 않았으나, 본 연구에서는 연속된 악궁 내 다양한 부위에서의 상층을 평가하기 위하여 각 기준점을 연결하는 연속된 식이 필요했다. Microsoft excel®을 이용하여 각 기준점을 연결하도록 유도된 수식은 다음과 같다.(Eq.1)

$$y = -3025.74 + 6160.734 \left( \frac{0.49176}{1+10^{(-21.0302-x) \times 0.1065}} + \frac{1-0.49176}{1+10^{(3446.0121-x) \times 0.00683}} \right)$$

(Eq.1)

이 수식의 그래프를 통해 얻어진 연속적인 선을 중심선(center line)으로 정의하였다.(Fig.1.) 이 중심선을 통하여 각 기준점 사이 메탈 볼들의 정확한 위치를 결정하였을 뿐만 아니라, 추가적인 협설측 메탈 볼을 위치시키기 위하여 각 볼에서의 협설측 수직선을 구할 때에도 해당 그래프의 접선에 수직한 기울기를 도출하여 정확한 수직선을 결정하였다.

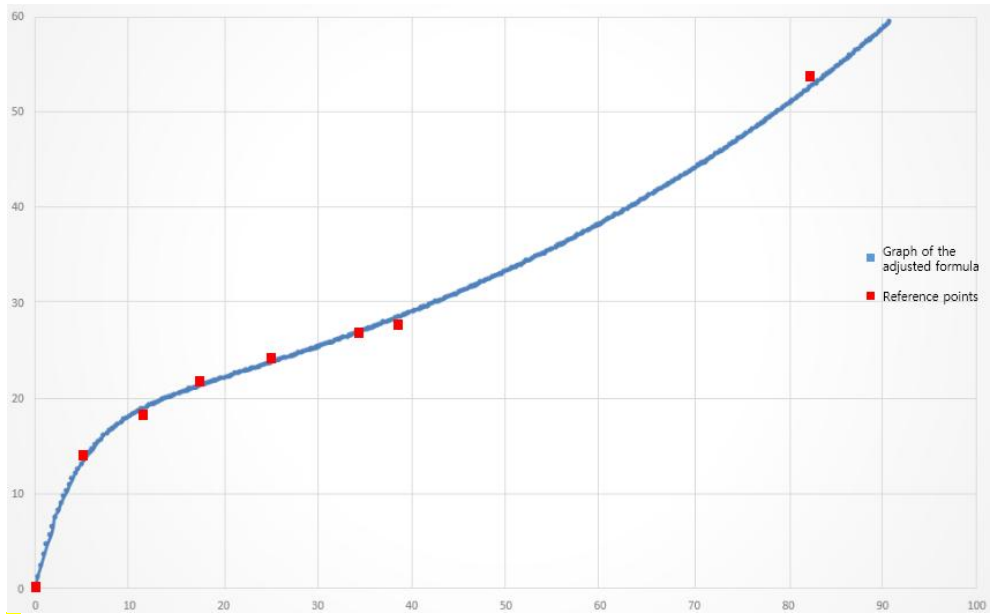


Fig. 1. Graph of the adjusted formula

중심선에서 중심 간 직선 4 mm 간격으로 직경 2 mm 의 메탈 볼을 식립하였다. 후방 경계는 한국 정상 골격 구조 환자의 우측 하악과두 평균 전후방폭경인 7.89 mm, 평균 내외측폭경인 19.62 mm<sup>20</sup> 를 고려하여 하악과두 중심 위치에서 후방으로 5개의 추가 볼을 위치시켰다.

각 볼을 기준으로 중심선의 접선에 수직인 방향을 유지하며 중심 간 2 mm 간격으로 협측으로 11개, 설측으로 11개, 총 22개의 추가 볼을 위치시켰다. 이때 각 볼의 수평면에서의 높이는 2.5 mm 씩 간격을 주어, 결론적으로 식립된 볼들은 측면에서 보았을 때 사선 형태를 갖게 된다. 이렇게 볼이 위치되었을 때 한 장의 파노라마영상 촬영으로 모든 볼의 상을 겹치지 않고 얻을 수 있었다.

좌우측 악궁에 위치한 메탈 볼의 상호작용으로 인한 허상의 영향을 최

소화하기 위하여 메탈 볼은 우측 악궁 위치에만 식립하되, 전치 부위는 허상을 형성하지 않는 선에서 최대한 좌측 악궁 위치까지 연장하였다.

볼을 위치시키는 과정에서 악궁의 형태로 인해 협측으로는 발산하는 형태로, 설측으로는 수렴하는 형태로 볼이 식립되게 되며 이때 볼과 볼 사이 간격이 일정하지 않게 된다. 일부 볼 사이 간격이 너무 넓거나 겹칠 정도로 너무 좁은 문제를 해결하기 위하여, 인접 볼과의 중심 간 직선 간격이 8 mm 이상인 경우 두 볼 사이 중점에 추가 볼을 식립하였고, 인접 볼과의 중심 간 직선 간격이 3 mm 이하인 경우에는 정중선에서 원심 측에 있는 하나의 볼을 생략하였다. 최종으로 완성된 도안은 Fig. 2.와 같다.



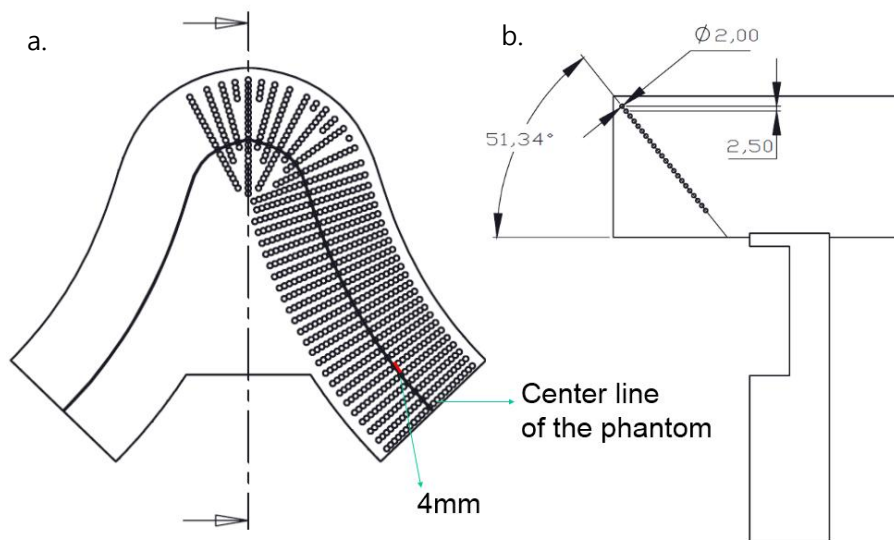


Fig. 2. Final designs of the Panorama phantom

(a. axial view / b. lateral view)

이렇게 결정되고 제작된 파노라마방사선영상팬텀을 파노라마팬텀 (Panorama phantom)으로 명명하였다. (특허출원 10-2017-0184233)

## (2) 파노라마팬텀 영상 획득

파노라마팬텀의 유효성 검토를 위하여 서울대학교 치과병원에서 사용 중인 OP-100® (Instrumentarium Dental, Tuusula, Finland) 파노라마 방사선장비(CR type)에서 촬영을 시행하였다. 촬영은 성인 남성 촬영 프로토콜을 따라 73 kVP, 10 mA, 17.6 seconds 로 하였다. 팬텀을 정확하게 위치시키기 위하여 수평계를 이용하였고, 중심선의 전치부 중심을 파노라마장비의 incisive notch에 일치시켰다.(Fig.3.) 볼이 식립된 아크릴 레진에 의한 x선의 감쇄를 고려하여 골 및 연조직 감쇄는 재현하지 않았다.

촬영 간 오차를 최소화 하기 위하여 동일한 프로토콜로 총 3회 촬영이 진행되었다.(Fig.4.)

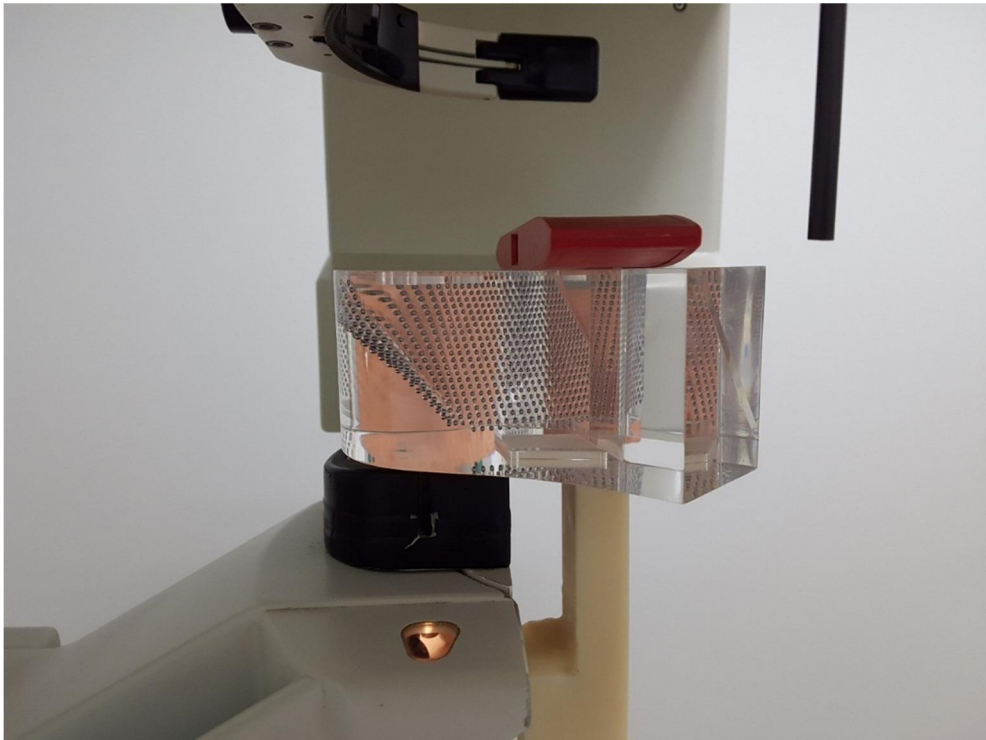


Fig. 3. Positioning of the Panorama phantom

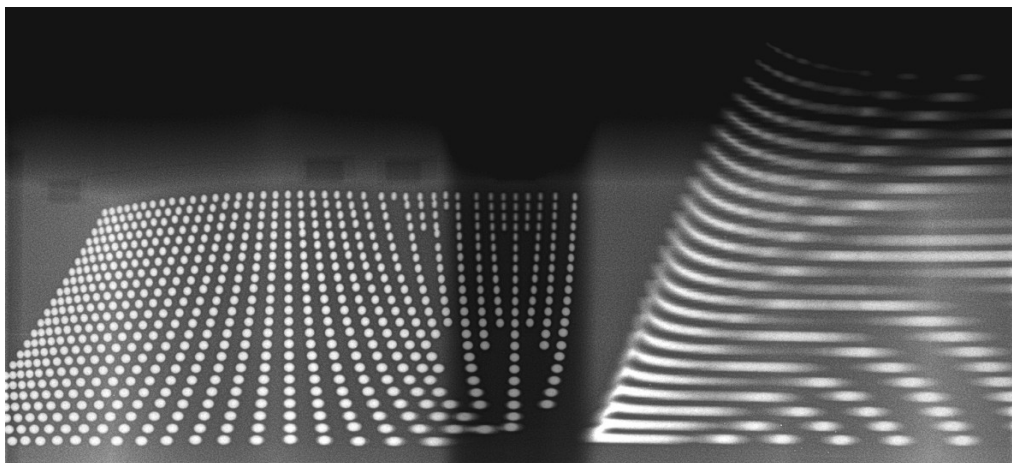


Fig. 4. The obtained panoramic image of the Panorama phantom

### (3) 파노라마팬텀 영상 평가

얻어진 파노라마팬텀 영상을 분석하기 위하여 MATLAB® programs으로 소프트웨어를 제작하였다. 획득된 영상의 경계를 명확하게 강조하기 위하여 ‘noise reduction filter’가 적용된 후 ‘universal threshold’를 적용한 ‘ellipse detection’을 시행하여 영상에서 원형 또는 타원형으로 얻어진 볼의 경계를 획득하였다. 이 경계를 이용하여 볼의 가로축과 세로축의 길이를 구하고 이 두 길이 간 차이의 비율을 볼의 변형 정도를 나타내는 지수인 볼 변형률(ball distortion rate)로 정의하였다. (Eq.2)

$$\text{Ball distortion rate} = \left(1 - \frac{\text{vertical length of the obtained ball image}}{\text{horizontal length of the obtained ball image}}\right) \times 100 (\%)$$

(Eq.2)

이 때 볼 변형률의 임계치(threshold)를 5%에서 50%까지 5% 간격으로 나누어 총 열 단계로 각 상층의 형태를 결정하였다. 예를 들어 볼 변형률 임계치 50%를 적용한 경우, 50% 이하의 볼 변형률을 보이는 모든 볼이 상층에 포함되게 된다. 각 볼 변형률 임계치를 만족시키는 볼의 상을 빨간색으로, 만족시키지 못하는 볼의 상을 파란색으로 표시하였다. 가장 외측에 있는 빨간색 볼을 연결하여 해당 임계치에서의 상층 경계를 결정하되, 가장 외측 볼의 정의는 제작 공정, 영상의 획득, 분석 등 과정에서 오차를 고려하여 임계치를 만족시키지 못하는 연속된 2개 이상의 파란색 볼이 나오기 직전의 빨간색 볼로 하였다.

## 2. 가로해상도계단팬텀을 이용한 해상도 평가

### (1) 가로해상도계단팬텀의 제작

촬영 간 오차를 줄이고 검사의 편의성을 위하여 팬텀 거치대의 각 부위에 고정되어 한 번의 촬영으로 폭 48 mm 영역의 가로 납선 쌍 영상이 획득 가능한 팬텀을 제작하였다. 이를 위하여 협설측으로 4 mm 간격, 13 계단으로 총 48 mm 의 협설 폭에 대해 평가가 가능한 계단 모양의 ‘가로해상도계단팬텀(horizontal resolution phantom)’을 제작하였다. 기존의 최<sup>11</sup>, 신<sup>12</sup> 등의 선행 연구결과와 파노라마방사선장비의 평가를 위해 1.6 lp/mm-3.0 lp/mm 의 납선 쌍을 이용한 팬텀을 채택했던 IEC 기준<sup>4</sup>을 고려하여 1.88, 2.32, 2.58, 3.19 lp/mm 총 4가지 납선 쌍을 결정하고, 한 종류의 납선 쌍을 13개의 계단 형태로 위치시킨 가로해상도계단팬텀을 제작하여 총 4개의 팬텀을 제작하였다.

악궁 모양의 팬텀 거치대에 위치시킨 후 영상을 획득하는 과정에서 반대측에 존재하는 팬텀 거치대에 의한 허상이나 팬텀 자체 지지부의 실상에 의해 최하방 계단의 납선 쌍의 영상이 겹칠 수 있는 한계를 극복하기 위하여 가로해상도계단팬텀 하방에 20 mm 의 여유 공간을 주었다. 최종적으로 제작된 4가지 가로해상도계단팬텀은 Fig.5.와 같다.

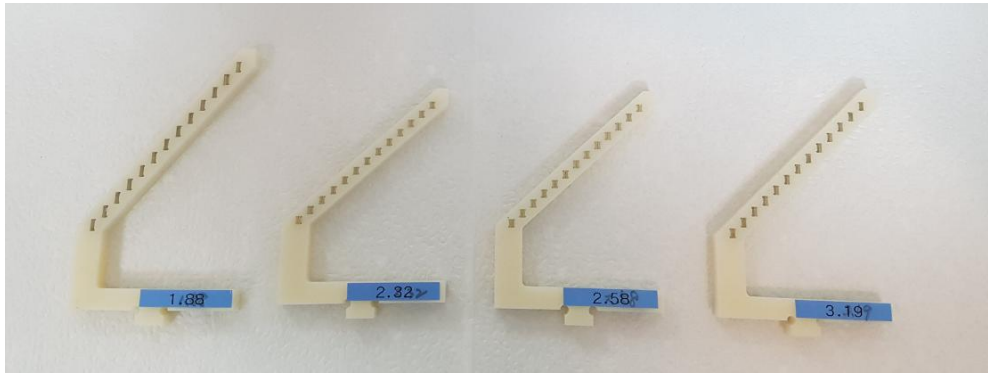


Fig. 5. Four types of the horizontal resolution phantom (1.88, 2.32, 2.58, 3.19 lp/mm)

## (2) 팬텀 거치대 수정

제작된 가로해상도계단팬텀을 위치시키기 위하여, 전치, 소구치, 대구치, 하악과두 위치에 해당 팬텀을 유지시킬 수 있는 홈이 형성된 팬텀 거치대를 제작하였다. 파노라마팬텀에서 결정된 한국 성인 남성 평균 하악 치열궁 및 하악과두 데이터를 이용하여, 각각 전치, 소구치(44번, 45번 교두 데이터의 중점), 대구치(46번 치아의 근심협측교두, 47번 치아의 원심협측교두 데이터의 중점), 하악과두 위치에 가로 8 mm, 세로 10 mm, 깊이 5 mm 의 홈을 형성하되, 전치의 경우 순측경사된 전치부의 치축을 보상하기 위하여 하악 전치의 절단면을 기준으로 한 값보다 5 mm 후방을 기준으로 홈을 형성하였다.

홈의 각도는 악궁의 형태를 고려하여 전치는 정중선과 일치하는 시상면 방향으로 제작하였고, 소구치와 대구치는 각각 43번 교두-46번 근

심협측교두를 잇는 선, 46번 근심협측교두-47번 원심협측교두를 잇는 선에 수직으로 제작하였다. 하악과두의 경우 과두의 수평각을 0도로 고려하고 관상면 방향으로 제작하였다. 제작된 팬텀 거치대는 Fig.6.과 같다.

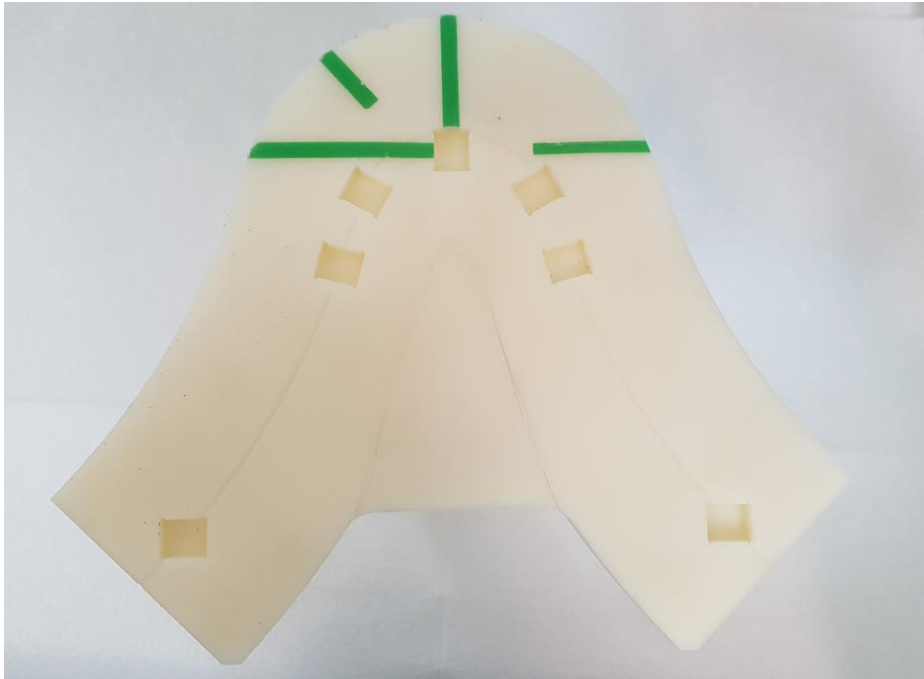


Fig. 6. Phantom stand

### (3) 가로해상도계단팬텀 영상 획득

해당 팬텀의 유효성 검토를 위하여 서울대학교 치과병원에서 사용 중인 OP-100® (Instrumentarium Dental, Tuusula, Finland) 파노라마방사선장비(CR type)에서 촬영을 시행하였다. 촬영은 성인 남성 촬영 프로토콜을 따라 73 kVP, 10 mA, 17.6 seconds로 하였다. 팬텀을 정확하

게 위치시키기 위하여 수평계를 이용하였고, 중심선의 전치부 중심을 파노라마장비의 incisive notch에 일치시켰다.

가로해상도계단팬텀의 경우, International Electrotechnical Commission(IEC)의 방사선 영상화질평가 시 권고사항에 따라 x선 소스에 0.8 mm의 구리판으로 두께골에 의한 감쇄를 재현하였다.<sup>4</sup> 연조직에 의한 감쇄는 팬텀 전방에 6 mm의 알루미늄 판을 부착하여야 하나, 전체 팬텀을 균일하게 감쌀 수 없어 이로 인한 왜곡을 최소화하고자 구리판과 겹쳐 x선 소스에 위치시켰다.

촬영 간 오차를 최소화 하기 위하여 동일한 프로토콜로 동일 부위가 각 3회 촬영되었다. 서로 영향을 받지 않는 두 부위(전치+하악과두, 소구치+대구치)에 두 종류의 서로 다른 가로해상도계단팬텀을 위치시켜 총 24회 촬영이 시행되었다.

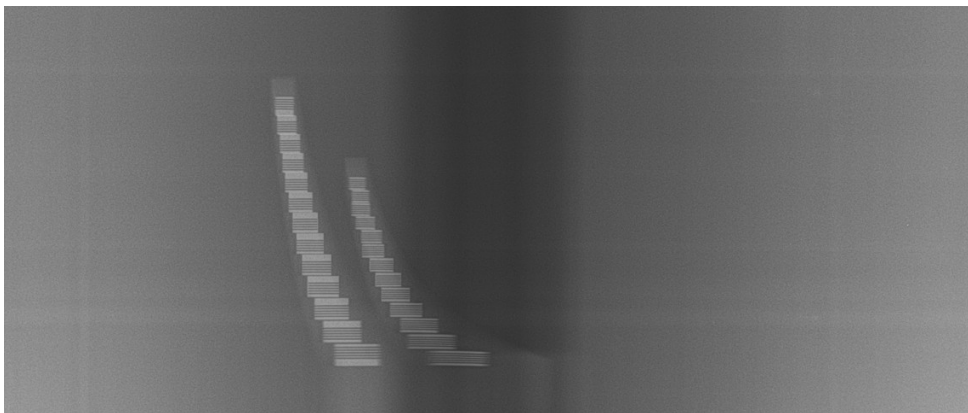


Fig. 7. The obtained panoramic image of the horizontal resolution phantom



#### (4) 가로해상도계단팬텀 영상 평가

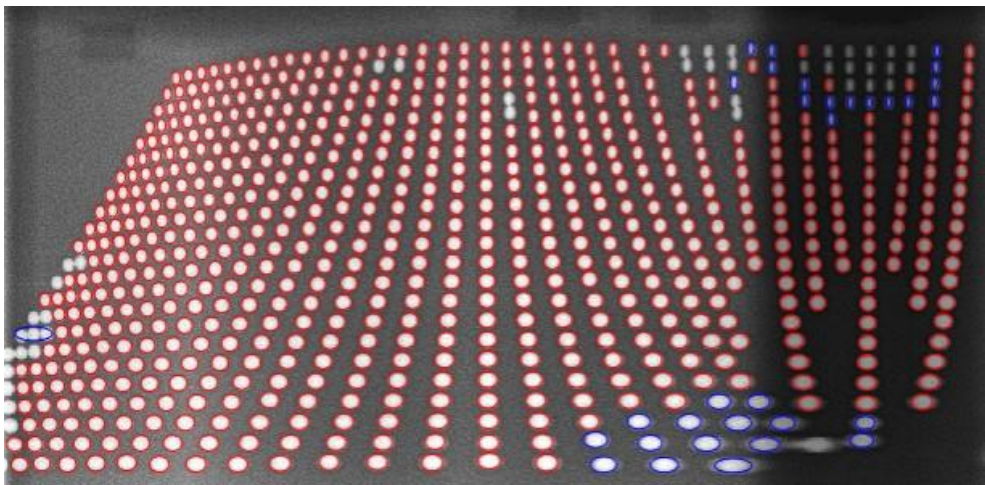
가로해상도계단팬텀의 경우 20년 이상의 경력을 가진 영상치의학과 전문의 2인에 의해 판독되었다. 총 24장의 영상이 무작위로 배열된 후 두 명의 판독자의 동의 하에 판독 가능한 가장 위, 아래 계단이 결정되었고 이를 통해 해당 위치에서 해당 납선 쌍이 판독 가능한 폭을 결정 할 수 있다.

오차를 최소화 하기 위하여 2주 후 다시 무작위로 재배열된 영상이 같은 방식으로 판독되었다. 한 부위에서 한 가로해상도계단팬텀 영상이 3회 획득되었고, 각 영상에 대해 2회씩 판독됨으로서 총 6회의 판독 결과가 얻어졌다. 6회의 결과를 평균한 것으로 결과 값을 결정하였다.

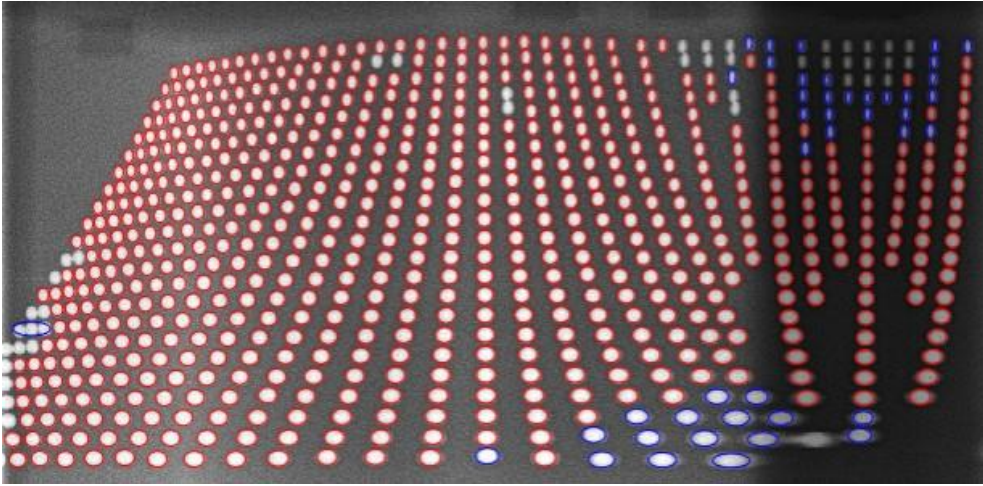
### III. 연구결과

얻어진 파노라마펜텀 영상에서 볼 왜곡률 임계치를 5%에서 50%까지 5% 간격, 10단계로 결정하였을 때의 각 상층의 형태는 다음 Fig.8.과 같다. 각 볼 변형률의 임계치를 만족시키는 볼을 빨간색으로, 만족시키지 못하는 볼을 파란색으로 표시하였다.

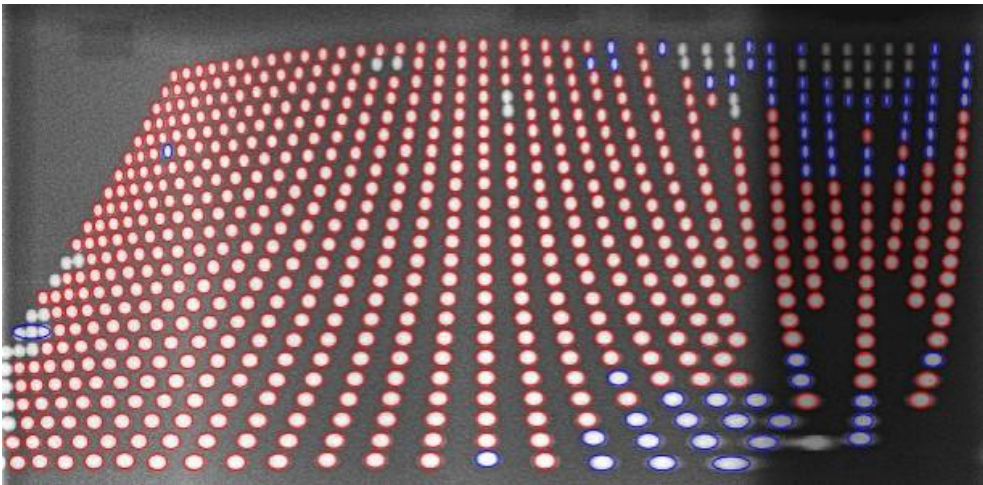
a. 50% distortion rate



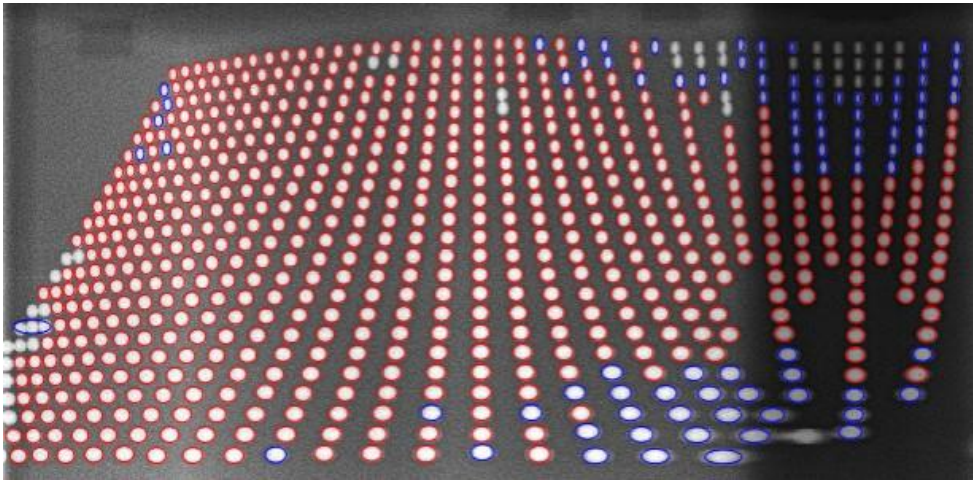
b. 45% distortion rate



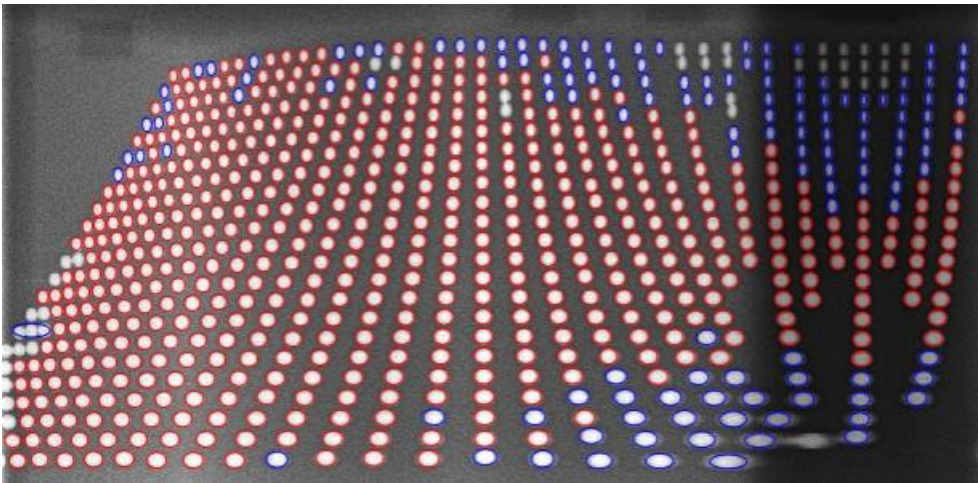
c. 40% distortion rate



d. 35% distortion rate

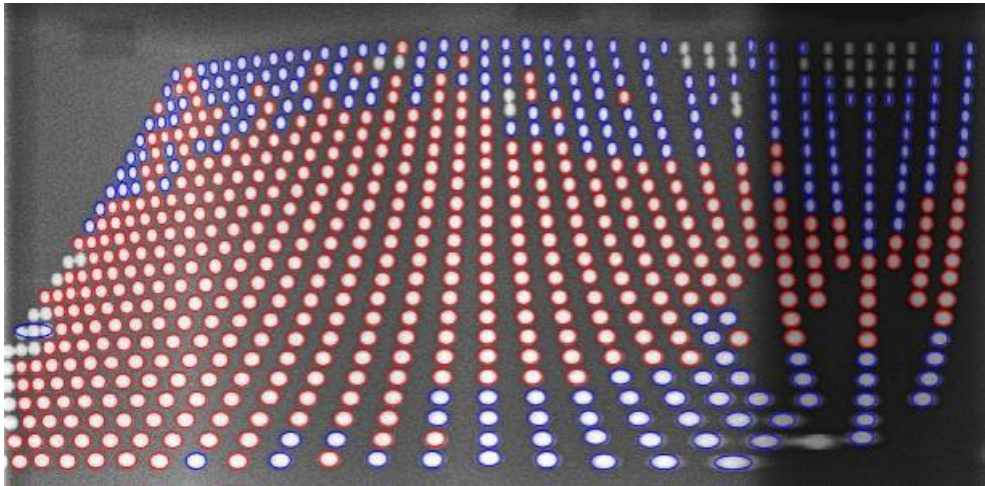


e. 30% distortion rate

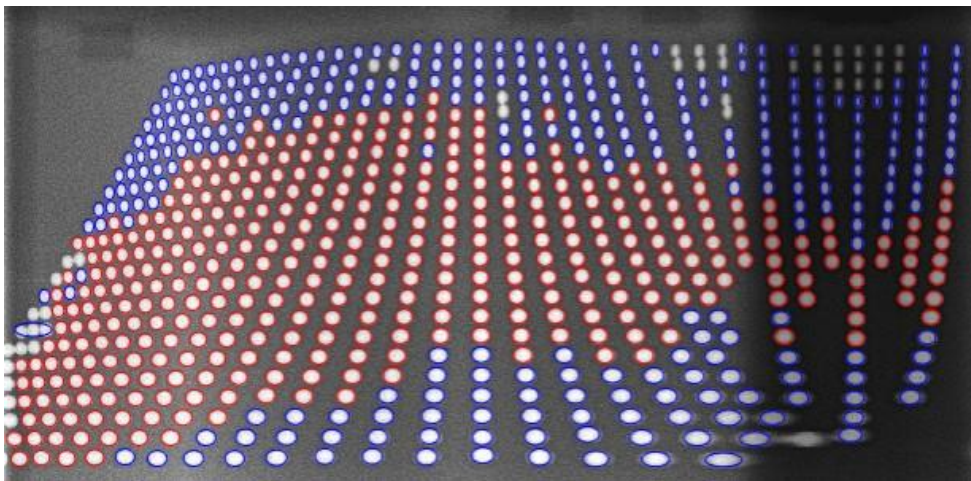




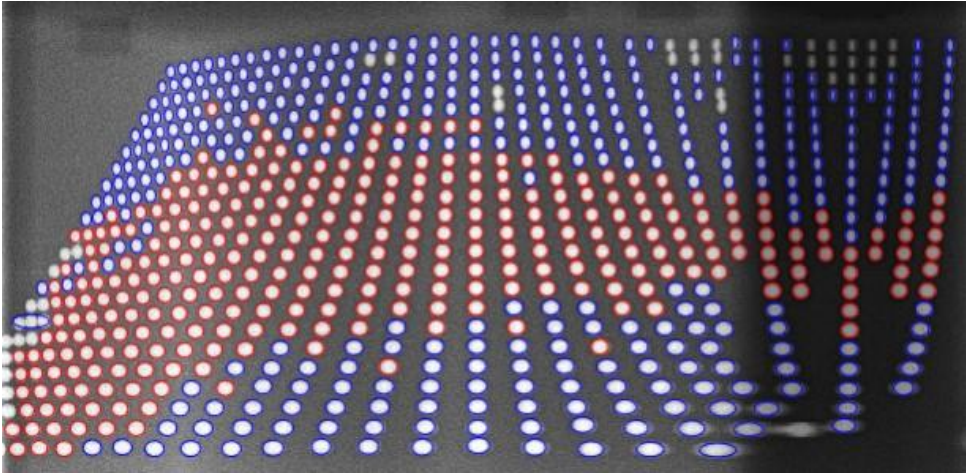
f. 25% distortion rate



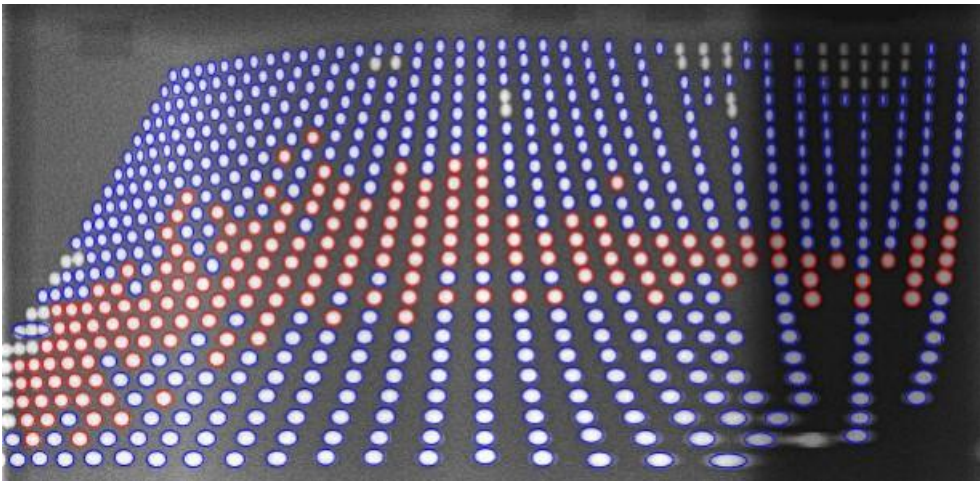
g. 20% distortion rate



h. 15% distortion rate



i. 10% distortion rate



j. 5% distortion rate

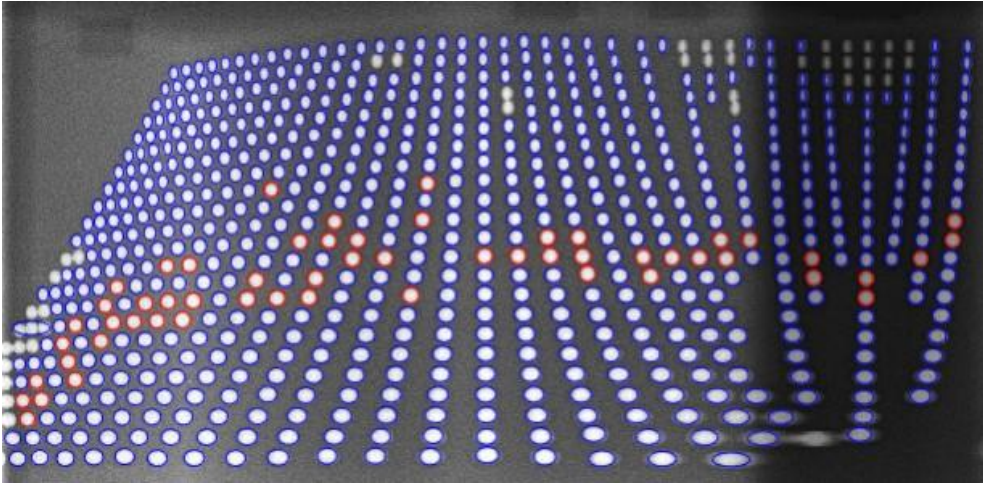


Fig. 8. Ball distortion rates of the obtained images of metal balls. The satisfied balls were displayed as red balls. Several image layer boundaries were obtained by applying various distortion rate threshold, from 50% to 5% with 5% decrement: a~j

볼 변형률 임계치가 작아질수록 조건을 만족시키는 볼의 개수가 적어지고 상층의 폭이 좁아지는 것을 볼 수 있었다. 특히 5%의 볼 변형률 임계치에서 조건을 만족시키는 볼은 총 700개 볼 중 8%에 해당하는 56개로, 거의 선형에 가까운 형태로 관찰되었다. 이 때 하악과두 부위와 그 후방에서 상층이 다소 하방으로 치우치는 것을 볼 수 있었는데, 이는 파노라마팬텀의 상방에서 보았을 때 상층이 내측으로 치우치는 것을 의미한다.

가로해상도계단팬텀의 영상에서 두 판독자의 동의 하에 판독 가능한 가장 위, 아래 계단이 결정되었다. 전치, 소구치, 대구치, 하악과두 각각의 위치에서 각 가로해상도계단팬텀의 판독 가능한 계단의 평균 개수는 Table 4., 이 때 판독 가능한 가로 납선 쌍이 위치한 협설 폭은 Table 5.와 같다.



Table 4. The number of readable steps of the horizontal resolution phantom (The lower step is marked as ‘1’)

Resolution Position	1.88 lp/mm	2.32 lp/mm	2.58 lp/mm	3.19 lp/mm
Incisor	1~13 steps	1~13 steps	1~13 steps	1~5.7 steps
Premolar	1~13 steps	1~13 steps	1~13 steps	1~3.4 steps
Molar	1~13 steps	1~13 steps	1~13 steps	1~4.2 steps
TMJ	1~13 steps	1~13 steps	1~13 steps	0 step

Table 5. The width of readable steps of the horizontal resolution phantom ( mm )

Resolution Position	1.88 lp/mm	2.32 lp/mm	2.58 lp/mm	3.19 lp/mm
Incisor	48 mm	48 mm	48 mm	18.8 mm
Premolar	48 mm	48 mm	48 mm	9.6 mm
Molar	48 mm	48 mm	48 mm	12.8 mm
TMJ	48 mm	48 mm	48 mm	0 mm

phantom ( mm )

1.88 lp/mm 가로해상도팬텀에서 2.58 lp/mm 가로해상도팬텀까지는 촬영한 모든 영역에서 판독이 가능하였다. 3.19 lp/mm 가로해상도팬텀의 경우 전치에서는 18.8 mm, 소구치에서는 9.6 mm, 대구치에서는 12.8 mm의 폭에서 판독이 가능하였고 하악과두 부위에서는 판독이 불가하였다. 전치, 소구치, 대구치에서 3.19 lp/mm가 판독이 가능한 영역은 Fig.9.의 파란색 부분과 같이 설측에 치우친 형태로 관찰되었다.

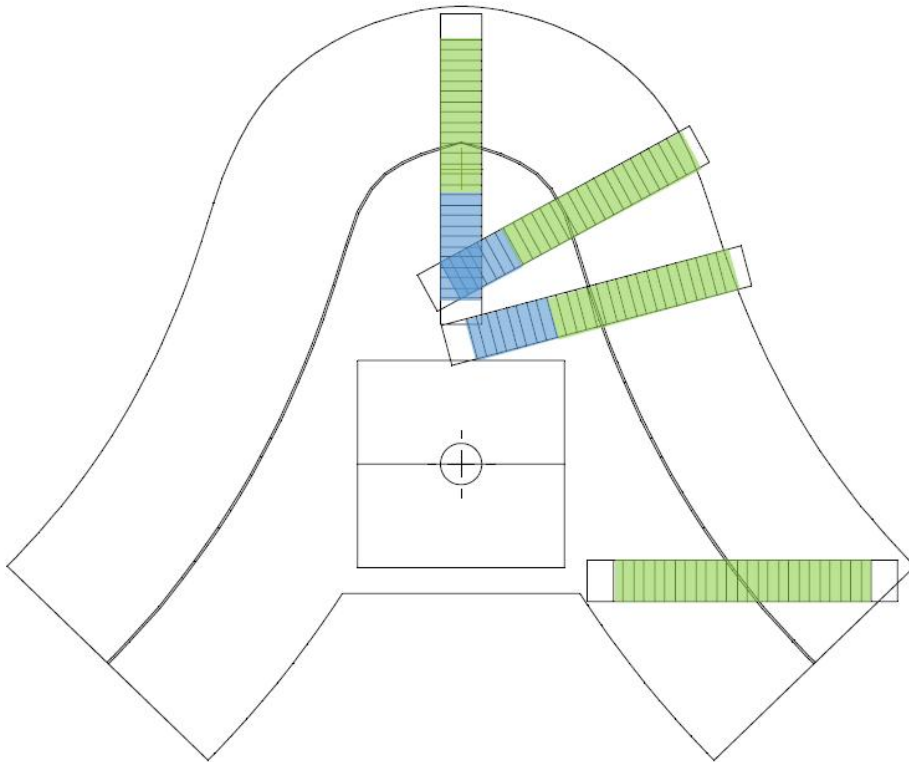


Fig. 9. Readable horizontal resolution phantom

(Green + Blue : 1.88~2.58 lp/mm, Blue : 3.19 lp/mm)

파노라마팬텀과 가로해상도계단팬텀으로 얻은 결과의 비교를 위하여 각 계단 위치에서 판독 가능한 가장 큰 가로 납선 쌍 값과, 해당 위치에서의 볼 변형률을 대응시켰다. 상방 도면을 기준으로 가로해상도계단팬텀의 각 계단이 위치한 부위에서 가장 넓은 영역으로 겹치는 파노라마팬텀의 메탈 볼을 대응되는 메탈 볼로 결정하였다. 해당 메탈 볼 상이 빨간색 영역에 들어오는 볼 변형률 임계치 중 가장 낮은 값에 대하여 해당 볼의 볼 변형률로 결정하였다. 가로해상도계단팬텀의 각 계단에서의 판독 가능한 가장 큰 납선 쌍 값과 해당 위치에서 파노라마팬텀의 볼 변형률 값은 Table 6.과 같다.

									Table
Position (Step)	Incisor		Premolar		Molar		TMJ		6.
	Panorama phantom (%)	Horizontal resolution phantom (lp/mm)	Panorama phantom	Horizontal resolution phantom	Panorama phantom	Horizontal resolution phantom	Panorama phantom	Horizontal resolution phantom	Comp
1	x	3.19	x	3.19	x	3.19	10	2.58	arison
2	x	3.19	x	3.19	50<	3.19	15	2.58	of the
3	50<	3.19	50<	3.19	30	3.19	10	2.58	ball
4	45	3.19	30	2.58	25	3.19	5	2.58	distor
5	30	3.19	30	2.58	20	2.58	10	2.58	tion
6	15	3.19	10	2.58	10	2.58	5	2.58	rates
7	5	2.58	10	2.58	5	2.58	15	2.58	and
8	30	2.58	15	2.58	15	2.58	20	2.58	horizo
9	30	2.58	20	2.58	15	2.58	25	2.58	ntal
10	30	2.58	30	2.58	30	2.58	25	2.58	
11	45	2.58	35	2.58	30	2.58	25	2.58	
12	45	2.58	35	2.58	35	2.58	25	2.58	
13	x	2.58	x	2.58	x	2.58	35	2.58	

resolution values

전치 부분에 대하여 대응되는 두 평가의 결과를 비교해보면, 1~6 번째 계단에서 가로해상도계단팬텀의 3.19 lp/mm 가 관독이 가능하지만 해당 영역에서 볼 변형률은 15%부터 인식이 되지 않는 부분까지 다양하게 존재하였다. 실제로 1~3 번째 계단의 ball 은 인식이 되지 않거나 되더라도 50%의 볼 변형률을 넘어서는 큰 볼 변형률을 보여주었다.

가장 작은 볼 변형률(5%)을 보이는 볼이 위치한 부위의 해상도는 모두 2.58 lp/mm 였다.

## IV. 고찰

연구에서 상층 평가의 목적으로 제작된 파노라마팬텀과 해상도 평가의 목적으로 제작된 가로해상도계단팬텀의 경우, 다른 개념으로 상층과 연관될 수 있다. 파노라마팬텀은 피사체가 상층에서 벗어난 경우 그 크기나 형태의 왜곡이 생긴다는 개념<sup>8,9</sup>을 이용하여 상층을 측정 및 평가할 수 있고, 가로해상도계단팬텀의 경우 상층에 위치한 피사체에서 얻어지는 영상이 상층에서 벗어난 피사체보다 선명하다는 개념<sup>1,2,3,6,7,10</sup>과 연관되어 파노라마팬텀으로 얻어진 상층 영역에 대해 추가적으로 평가할 수 있다.

파노라마팬텀에서는 메탈 볼을 위치시키는 중심선을 결정하기 위해 한국 성인 남성의 평균 하악 치열궁 및 하악과두의 데이터를 사용하였다. 하악과두의 데이터는 최<sup>11</sup>, 신<sup>12</sup> 등의 선행논문에서 사용된 수치를 참고하여 두부규격방사선영상에서 측정한 값에 확대율 10%를 보정하여 사용하였다. 이 때 보정을 시행한 과두 간 거리의 데이터(108.20 mm)는 최근 논문에서 CBCT를 이용하여 측정한 한국 남성 Angle classification class 1 환자의 과두 간 거리인 108.3 mm 와 거의 일치하는 수치이다.<sup>21</sup>

파노라마팬텀의 중심선의 형태는 각 나라나 인종의 특성을 고려하여 다양하게 변화될 수 있고 이 논문과 동일한 방식으로의 평가를 하기 위해서는 팬텀이 수정되어야 한다는 한계를 생각할 수 있다. 하지만 해당 파노라마팬텀은 넓은 협설측 폭에 대하여 전후방, 내외측으로 연속에 가까

운 정도로 뻑뻑하게 볼이 위치하게 설계되었기 때문에, 인종 별로 다양한 악궁 및 하악과두 수치를 이용하여 새로운 중심선(center line)을 결정하고 이 때의 새로운 중심선과 일치도가 높은 메탈 볼들의 위치를 결정하여 평가하고자 하는 특정 악골 형태가 반영된 파노라마방사선장비의 상층 평가를 시행할 수 있다.

파노라마팬텀의 경우 협설측으로 46 mm 의 폭에 2 mm 간격으로 메탈 볼을 심고 해당 볼이 영상에서 얼마나 그 원래의 형태와 크기를 유지하는지에 대해 평가하였다. 이 때 50%의 볼 변형률 임계치에서는 46 mm 의 대부분의 폭이 상층 영역에 해당하는 것을 볼 수 있다. 볼 변형률 임계치를 줄일수록, 상층 내부에 포함되는 폭은 점점 줄어드는 것을 볼 수 있었고, 평균적인 악골의 협설 두께인 10 mm 를 모든 영역에서 포함할 수 있는 최소의 볼 변형률 임계치는 15%였다.

5% 볼 변형률로 얻어진 경계를 기준으로 협설측으로 멀어질수록 볼 변형률이 커지는 양상이 관찰된다. 이는 파노라마팬텀이 파노라마방사선 장비의 특성을 잘 반영하여 정확한 상층 평가를 가능하게 함을 보여준다.

가로해상도계단팬텀의 경우 계단 형태로 변형된 가로 납선 쌍을 원하는 부위에 위치 시킴으로써 한번의 촬영으로 서로 다른 협설 부위에 위치된 13개의 납선 쌍의 영상을 얻을 수 있었고 이를 판독함으로서 48 mm 폭 내에서의 가로 해상도 값을 측정할 수 있었다.

가로해상도계단팬텀을 촬영하여 얻은 영상을 판독하였을 때, 1.88,



2.32 그리고 2.58 lp/mm 는 모든 영역의 48 mm 의 폭에서 모두 판독이 가능하다는 결과가 나왔다. 이는 선행연구에서 1.7 lp/mm 의 가로해상도팬텀으로 판독을 하였을 때에도 5.5 mm ~ 23 mm 정도의 폭에서만 판독이 가능했던 결과와 비교하였을 때<sup>1,2,3,10</sup> 월등하게 좋은 결과값을 보여준다. 파노라마방사선장비의 성능이 점차 개선됨에 따라 각 위치에서의 납선 쌍을 통해 평가한 해상도 또한 개선된 것으로 생각된다.

파노라마영상은 회전하는 x선원에 의하여 상층에 해당하는 부위의 단층 영상이 획득된다는 특성으로 인해 세로 납선 쌍을 사용하는 경우, 곡선의 중심부에는 오직 하나의 세로선만이 접선이 되고 나머지 세로선의 해상도는 중심부를 벗어나게 되므로 실제 원하는 부위의 해상도 값을 얻을 수 없다. 반면에, 가로 납선 쌍을 사용하는 경우 수평 축소, 확대 왜곡에 의해 실제 해상도와 다른 결과를 보일 수 있다는 한계가 있다. 실제로 볼 타입의 파노라마팬텀으로 결정한 상층의 형태보다 가로해상도계 단판텀의 3.19 lp/mm 값으로 결정한 상층이 더 설측에 치우친 형태로 관찰되는데, 실제 설측에서의 해상도가 더 좋을 가능성 외에 다른 요소들에 대해 충분히 고려하여야 한다. 상의 수직적인 확대 또는 축소, 수직적 번짐 등 가로 납선 쌍 판독에 영향을 미칠 수 있는 수직적 변형 요소의 기여가 적어 가로 납선 쌍이 명확하게 읽혔지만 상의 수평적인 확대 또는 축소, 수평적 번짐 등의 수평적 변형 요소는 이보다 훨씬 크게 작용하였으나 결과에 영향을 미치지 못한 것으로 생각된다. 이는 파노라마장비의 특수성으로 인해 납선 쌍을 통한 상층 또는 해상도 평가가 적

절치 않을 수 있다는 주장을 가능하게 한다.

2000년 IEC의 'Acceptance tests-Imaging performance of dental X-ray equipment'<sup>4</sup>에서는 사선 납선 쌍을 포함하는 팬텀을 제시하고 있다. 이 때 얻어진 사선 납선 쌍 영상의 판독가능 여부는 납선의 상하로 분리된 부위에 의해 결정되게 되어 결론적으로는 가로 납선 쌍을 통한 파노라마방사선장비의 평가일 것이고, 가로 납선 쌍을 통한 파노라마방사선장비 평가의 한계와 동일한 문제점을 가질 것으로 생각된다.

이 연구에서의 결과를 고려하였을 때, 파노라마방사선장비는 악궁의 다양한 위치에 따른 위치 별 정도관리가 이루어져야 할 뿐만 아니라, 같은 위치에서도 다양한 협설측 위치에 대하여 구분하여 평가를 할 필요가 있다. 현재 납선 쌍을 이용한 팬텀은 다양한 진단용방사선장비의 해상도를 평가하는데 사용되고 있지만, 파노라마방사선장비는 연속하여 움직이는 x선원과 상수용기 사이에서 물체의 상이 형성된다는 점에서 일반적인 진단용방사선장비와 큰 차이를 갖는다. 한 쌍의 납선 영상을 얻을 때에도 짧지만 연속적인 x선원과 상수용기의 위치 변화가 존재하기 때문에, 얻어진 납선 쌍 영상을 판독하여 결정한 값이 해당 위치의 해상도를 대신할 수 있는 값이 될 수 없다. 따라서 해상도의 경우에도 파노라마팬텀을 이용하여 얻어진 영상에서 각 위치에서의 볼 경계의 Modulation Transfer Function (MTF) 값으로 대체해야 할 필요성이 있다.

이 연구의 의의는 파노라마방사선장비의 상층 평가를 가능하게 하는 구체적인 파노라마방사선영상팬텀을 제시하였다는 것이다. 실제 제작된

파노라마팬텀을 이용하여 평가한 파노라마방사선장비의 상층은 악골의 곡면 중심을 따라 측정되었다. 또한, 하악과두 부위의 상층은 하악과두 부위를 내측으로 다소 벗어났음을 알 수 있었다. 팬텀을 이용하여 부위별로 구체적인 상층의 위치와 폭의 평가가 가능해짐에 따라, 환자에게 최적화된 상층을 가질 수 있게 파노라마방사선장비를 재조정 할 수 있게 되었다.

앞으로는 제작된 파노라마팬텀을 이용하여 임상적인 진단과 연관된 상층 경계에서의 볼 변형률을 객관적인 수치로 제시하는 연구가 필요하겠고 볼의 경계에서의 MTF를 이용하여 파노라마방사선장비의 특성이 적절하게 고려된 해상도 측정법을 제시할 수 있다. 또한 팬텀 내에 땀땀하게 식립된 볼 간의 관계를 이용하여 파노라마방사선장비의 회전 중심, 촬영 시 입사되는 x선원의 각도와 악궁 형태와의 관계 등에 대한 추가적인 연구가 가능하다.

## V. 결론

새로 만들어진 파노라마팬텀을 이용하여 파노라마방사선장비에 의해 촬영되는 모든 근원심 영역에 대하여 상층의 평가가 가능하였다. 이 때 넓은 협설측 폭(46 mm)에 대하여 2 mm 간격으로 상층 평가가 가능하였다.

가로해상도계단팬텀에서 전치부에 가장 높은 해상도를 보이는 부위는 한국 성인 남성 평균 하악 치열궁을 기준으로 설측으로 벗어난 부위에 존재하고 있었다. 파노라마방사선장비의 특수성을 고려하였을 때 납선쌍을 이용한 해상도 평가에는 한계가 존재하여 파노라마팬텀의 볼 경계를 이용한 해상도 평가가 권장된다.

## VII. 참 고 문 헌

1. Hassen SM, Manson-Hing LR. A study of the zone of sharpness of three panoramic x-ray machines and the effect of screen speed on the sharpness zone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982; 54: 242-9.
2. Paiboon C, Manson-Hing LR. Effect of border sharpness on the size and position of the focal trough of panoramic x-ray machines. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985; 60: 670-6.
3. Patel JR. The focal trough of the Autopan panoramic dental x-ray machine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1989; 68: 115-8.
4. International Electrotechnical Commission. IEC 61223-3-4 Evaluation and routine testing in medical imaging departments. 2000.
5. 보건복지부. 진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙. 2017.
6. Brown CE, Jr., Christen AC, Jerman AC. Dimensions of the focal trough in panoramic radiography. *J Am Dent Assoc* 1972; 84: 843-7.
7. Lund TM, Manson-Hing LR. A study of the focal troughs of three panoramic dental x-ray machines. Part I. The area of sharpness. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1975; 39: 318-28.
8. Manson-Hing LR, Lund TM. A study of the focal troughs of three panoramic dental x-ray machines. Part II. Image dimensions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1975; 39: 647-53.
9. Glass BJ, McDavid WD, Welander U, Morris CR. The central plane of the image layer determined experimentally in various rotational panoramic x-ray machines. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985; 60: 104-12.
10. Martinez-Cruz S, Manson-Hing LR. Comparison of focal trough dimensions and form by resolution measurements in panoramic radiography. *J Am Dent Assoc* 1987; 114: 639-42.

11. 최다혜. 화질평가표와 한국인의 표준 악궁을 재현한 팬텀 거치대를 이용한 디지털파노라마영상의 화질 평가 방법. 서울대학교 박사학위 논문 2012.
12. 신재명. 개선된 해상도 · 대조도 팬텀을 이용한 파노라마방사선영상의 화질평가: 임상화질평가와의 비교. 서울대학교 박사학위 논문 2016.
13. 남중현, 이기수. 한국인 정상 교합자의 하악 치열궁 형태에 관한 연구, 대치교정지 1996; 26: 535-46.
14. Lee SJ, Moon SC, Kim TW, Nahm DS, Chang YI. Tooth size and arch parameters of normal occlusion in a large Korean sample. Korean J Orthod 2004; 34: 473-80.
15. 부정교합백서발간위원회. 한국 성인 정상 교합자의 측모두부규격방사선사진 계측연구 결과 보고서. 1996.
16. 안형규. 두부방사선 규격계측사진에 의한 하악두의 관찰. 대한악안면방사선학회지 1984; 14: 135-40.
17. Yitschaky O, Redlich M, Abed Y, Faerman M, Casap N, Hiller N. Comparison of common hard tissue cephalometric measurements between computed tomography 3D reconstruction and conventional 2D cephalometric images. Angle Orthod 2011; 81: 11-6.
18. Dibbets JM, Nolte K. Effect of magnification on lateral cephalometric studies. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2002; 122: 196-201.
19. N. Horishi, N Kenji, Y Yasuhiko. 치과교정학 Bioprogressive 진단학. 지성출판사. 1994
20. Park IY, Kim JH, Park YH. Three-dimensional cone-beam computed tomography based comparison of condylar position and morphology according to the vertical skeletal pattern. Korean J Orthod. 2015;45(2):66-73.
21. Kong HJ, Oh SC. Evaluation of Bonwill triangle using cone beam computerized tomography in Korean. J Dent Rehabil Appl Sci 2018; 34: 97-103.

## ABSTRACT

# Evaluation of the image layer and the resolution using newly developed panoramic radiographic phantom

Han-gyeol Yeom, DDS

Department of Oral and Maxillofacial Radiology,  
Graduate School, Seoul National University  
(Directed by Prof. Sam-Sun Lee, DDS, MSD, PhD)

### **Purpose**

The purpose of this study is to propose two types of the panoramic radiographic phantom that can evaluate the image layer and the resolution of panoramic radiography.

### **Material and Methods**

‘Panorama phantom’ using metal balls and ‘horizontal resolution phantom’ using horizontal lead wire pairs were proposed to evaluate the image layer and the resolution of panoramic radiography.

The arch shape of Panorama phantom was derived from the average data of lower dental arch of the Korean adult male. The metal balls with 2 mm diameter were placed following the center line of the phantom with 4 mm mesiodistal interval. And additional metal balls were further placed following 22 arch shapes in a direction parallel to the center line with 2 mm buccolingual intervals. The height of each ball in the horizontal plane was spaced by 2.5 mm, and consequently, the placed balls were oblique when viewed from the side. When the ball was positioned in this way, a single panoramic image could be obtained without overlapping the images of all the balls.

The distortion rate of the ball in the acquired image was measured by calculating the difference between vertical and horizontal length with MATLAB® program using ‘ellipse detection’ method. Several image layer boundaries were obtained by applying various distortion rate thresholds.

The horizontal resolution phantom and a phantom stand were made to evaluate the resolution of panoramic radiography. Horizontal lead wire pairs of 1.88, 2.32, 2.58, and 3.19 lp/mm were placed in a staircase with 4 mm buccolingual intervals with a total width of 48 mm. The obtained images were read by two oral and maxillofacial radiologists.

## **Results**

In the case of the Panorama phantom, almost all areas bearing the metal balls were defined as a image layer with 50% distortion rate threshold. When 5% distortion threshold was applied, the image layer formed with narrow buccolingual width along the general outline of the arch shaped center line. But it was medially located



in the TMJ region.

In the case of the horizontal resolution phantom, the horizontal lead wire pairs of 1.88, 2.32, and 2.58 lp/mm were readable in 48 mm widths of all evaluated regions. With 3.19 lp/mm, the widths of readable area were 18.8, 9.6, and 12.8 mm, respectively, in the incisor, premolar, and molar regions. The readable area with 3.19 lp/mm was lingually located and the ball distortion rates at same area were varied from 15% to the unrecognized ones.

## **Conclusion**

The Panorama phantom could be used to evaluate the image layer of panoramic radiography. It could evaluate all mesiodistal areas with a large buccolingual width (46 mm).

Considering the specificity of the panoramic radiography, there is a limitation on the evaluation of the resolution using the lead wire pairs, so it is recommended to evaluate the resolution using the ball boundary of the Panorama phantom.

---

**Keywords:** Radiographic phantom, Panoramic radiography